

(19)日本国特許庁 (J P)

(12) 特 許 公 報 (B 2)

(11)特許番号

特許第3204493号

(P3204493)

(45)発行日 平成13年9月4日(2001.9.4)

(24)登録日 平成13年6月29日(2001.6.29)

(51)Int.Cl.<sup>7</sup>

識別記号

F I

G 0 2 B 6/12

G 0 2 F 1/01

C

G 0 2 F 1/01

G 0 2 B 6/12

H

請求項の数2(全 7 頁)

(21)出願番号 特願平8-15170

(22)出願日 平成8年1月31日(1996.1.31)

(65)公開番号 特開平9-211240

(43)公開日 平成9年8月15日(1997.8.15)

審査請求日 平成11年10月19日(1999.10.19)

(73)特許権者 000004226

日本電信電話株式会社

東京都千代田区大手町二丁目3番1号

(72)発明者 郷 隆司

東京都新宿区西新宿三丁目19番2号 日

本電信電話株式会社内

(72)発明者 服部 邦典

東京都新宿区西新宿三丁目19番2号 日

本電信電話株式会社内

(72)発明者 岡崎 久晃

東京都新宿区西新宿三丁目19番2号 日

本電信電話株式会社内

(74)代理人 100078499

弁理士 光石 俊郎 (外2名)

審査官 岡田 吉美

最終頁に続く

(54)【発明の名称】 位相調整機能付光導波路の作製方法

1

(57)【特許請求の範囲】

【請求項1】 基板上に形成されるクラッド層と、該クラッド層に埋め込まれたコア部と、前記コア部の上部に設けられた光路長を調節するための位相調整用ヒータとを備えた位相調整機能付光導波路の作製方法であって、前記基板の一部を機械加工により除去して除去領域を形成する手順と、前記除去領域に適合する形状に、前記基板より熱伝導率が低い材料を機械加工により形成し、その後両基板を一体化することで複合基板を形成する手順と、前記複合基板上に、前記クラッド層と前記コア部とからなる光導波路を作製する手順と、前記熱伝導率が低い材料の上部に位相調整用ヒータを作製する手順からなることを特徴とする位相調整機能付光導波路の作製方法。

【請求項2】 前記クラッド層はSiO<sub>2</sub>を主成分とする

2

石英系ガラスであり、且つ、前記コア部はSiO<sub>2</sub>を主成分とする石英系ガラスであり、前記複合基板のうち熱伝導率が比較的低い材料として石英が用いられ、前記複合基板のうち熱伝導率が比較的高い材料としてシリコンが用いられることを特徴とする請求項1記載の位相調整機能付光導波路の作製方法。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】本発明は、位相調整機能付光導波路の作製方法に関する。詳しくは、省電力で光路長を調節することができる単一モード光導波路の作製方法に関する。

【0002】

【従来の技術】従来、平面基板上に作製される単一モード光導波路、特にシリコン基板上に作製可能な石英系ガ

## 3

ラス単一モード光導波路は、光ファイバーとの整合性に優れており、実用的な導波路形光部品の実現手段として期待されている。

【0003】とりわけ、石英系ガラス単一モード光導波路より構成される導波型光干渉計は、単一モード光ファイバー通信などの重要な光部品として期待されている。ここで、導波型光干渉計の分野においては、伝搬光の位相を調節する機能を光導波路に具備させることが必要であり、また、実用上は、伝搬光の位相を調節するために必要な電力を如何に小さくするかが大きなポイントとなっている。

【0004】図6に基本的な従来の位相調整部を有する光導波路の概略構成例として、例えば、石英系ガラス導波路における例を示す。同図に示すように、シリコン基板1上に石英系ガラスよりなるクラッド層2が形成されると共にこのクラッド層2には石英系ガラスよりなるコア部3が埋め込まれ、更に、このコア部3の上部のクラッド層2の表面に位相調整器として薄膜ヒータ4が形成されている。

【0005】このような石英系導波路構造は、 $\text{SiC}$ 、 $\text{GeCl}_4$ などの原料ガスの加水分解反応を利用したガラス膜の堆積技術、反応性イオンエッチング技術及びウェットエッチングの組み合わせにより作製される。以上のような構成において、薄膜ヒータ4に通電し、クラッド層3を介してコア部2を加熱すると、いわゆる熱光学効果により、コア部2の屈折率が増加し、薄膜ヒータ4の下部の実効的な光路長が変化し、伝搬光の位相を変化させることができる。石英系ガラスの屈折率の温度変化に対する変化率  $dn/dT$  は、 $10^{-5} [1/^\circ\text{C}]$  程度であるから、1 cmの長さに渡って光導波路の温度を10℃上昇させると、1 μm程度光路長を変化させることができる。

【0006】しかしながら、図6のような構成においては、薄膜ヒータ4により発生した熱は、コア部2の近傍の温度上昇に費される他、大部分の熱はシリコン基板1に拡散してしまうので、加熱効率が悪く消費電力が増大してしまう。また、同一シリコン基板1上に複数の位相調節に用いる薄膜ヒータを集積化すると、シリコン基板1を介して、一方の薄膜ヒータの熱が近傍にある他の導波路まで伝わり、相互干渉を起こしてしまう。

【0007】そこで、これらの問題を解決すべく、図5に示す方法が提案されている（特開平1-158413号）。図5に示す光導波路では、コア部3の長手方向に沿って、その左右4か所にシリコン基板1まで達する溝51a、51b、52c、52dをクラッド層2に設けると共にコア部3の直下におけるシリコン基板1に空洞としてシリコン基板除去領域54を設けることにより、コア部3を含むクラッド層2である光導波路部53aをシリコン基板1より分離し、この光導波路部53aを500 μm間隔のブリッジ構造部52a、52bを介して

(2)

特許第3204493号

## 4

クラッド層2より支えている点が図6に示すものと異なる。

【0008】この光導波路は、先ず、従来より用いられている火炎堆積技術と反応性エッチングによる微細加工技術の組み合わせにより石英系ガラス基板をシリコン基板1上に作製し、次いで、真空蒸着法と化学エッチングにより、薄膜ヒータを4を形成し、引続き、溝51a、51b、52a、52bを反応性エッチングにより作製し、その後、これらの溝51a、51b、52a、52bを連通するように化学エッチングすることにより、シリコン基板除去領域54を形成することにより作製する。化学エッチングの際には、シリコン基板1の裏面は腐食されないようにマスキングしている。

【0009】このような、シリコン基板1から分離した構造の導波路の構造は、シリコン基板除去領域54において断熱効果が生じるため、前述した図6に示す基本的な構造の導波路に比べて、約10分の1の消費電力で位相調節を実現することができた。

【0010】

【発明が解決しようとする課題】しかしながら、図5に示す断熱用の溝を形成した導波路は構造上から基板より分離しているため、光導波路部53a、53bの幅、厚さ及び導波路と基板を接続しているブリッジ構造部52a、52bの幅が約50 μmと細いため機械的な強度が弱く、作製後の取扱が難しくなるという問題があった。つまり、図5に示す構造の場合は、作製されたブリッジ構造の導波路は指で触ると折れてしまう程強度的に弱く、取り扱いが難しかったのである。

【0011】また、ヒータ4に加える電力を大きくすると熱応力により導波路部が破断してしまうこともあった。現実的に実用に供される回路には図5に示した構造は用いられず、図6に示した構造が用いられる場合が殆どである。これは、前述した機械的強度や煩雑な作製工程が実用上問題となっていることに他ならない。本発明は、上記従来技術に鑑みてなされたものであり、機械的強度が強く且つより簡便な方法で部分的な断熱構造を有する位相調整機能付光導波路の製造方法を提供することを目的とする。

【0012】

【課題を解決するための手段】斯かる目的を達成する本発明の請求項1に係る位相調整機能付光導波路の作製方法は、基板上に形成されるクラッド層と、該クラッド層に埋め込まれたコア部と、前記コア部の上部に設けられた光路長を調節するための位相調整用ヒータとを備えた位相調整機能付光導波路の作製方法であって、前記基板の一部を機械加工により除去して除去領域を形成する手順と、前記除去領域に適合する形状に、前記基板より熱伝導率が低い材料を機械加工により形成し、その後両基板を一体化することで複合基板を形成する手順と、前記複合基板上に、前記クラッド層と前記コア部とからなる

## 5

光導波路を作製する手順と、前記熱伝導率が低い材料の上部に位相調整用ヒータを作製する手順からなることを特徴とする。

【0013】また、上記目的を達成する本発明の請求項2に係る位相調整機能付光導波路の作製方法は、請求項1において、更に、前記クラッド層は $\text{SiO}_2$ を主成分とする石英系ガラスであり、且つ、前記コア部は $\text{SiO}_2$ を主成分とする石英系ガラスであり、前記複合基板のうち熱伝導率が比較的低い材料として石英が用いられ、前記複合基板のうち熱伝導率が比較的高い材料としてシリコンが用いられることを特徴とする。

【0014】

【0015】

【発明の実施の形態】本発明の位相調整機能付光導波路は、基板上に作製される、コア部をクラッド層が取り囲んでなる光導波路であって、該コア部の上部に光路長を調整するためのヒータが設けられていることにより位相調整ができる光導波路において、基板は熱伝導率の比較的高い材料、例えば、シリコン（熱伝導率＝ $1.5 \text{ W/cm} \cdot \text{deg}$ ）よりなる基板と、熱伝導率が比較的低い材料、例えば、石英（熱伝導率＝ $0.014 \text{ W/cm} \cdot \text{deg}$ ）よりなる基板とを組み合わせた複合基板であり、熱伝導率が比較的低い材料で作製されている基板の上部に前記コア部が配置されるものである。

【0016】更に、この複合基板を実現する方法としては、一方の基板を機械加工により基板の一部を除去し、その除去領域に適合する形状に他方の基板を機械加工により作製し、その後両基板を一体化させるものである。本発明では、熱伝導率の異なる材料を組み合わせた複合基板とし、コア部は熱伝導率の比較的低い材料の上に配置することで、断熱構造が構成でき、且つ、導波路が基板と一体化しているので機械的強度に優れている。

【0017】よって、本発明の光導波路は、単一基板上に作製される光導波路に比べ断熱効果が高く、断熱用の溝を設けた光導波路に比べて機械的強度が大きい。また、本発明で用いる複合基板は、機械加工により作製できるので、パターンニングやエッチング等の煩雑な作製工程に比較し、簡便且つ安価に複合基板を作製することができる。

【0018】

【実施例】

【実施例1】本発明の第1の実施例に係る位相調整機能付光導波路を図1に示す。同図に示すように、本実施例では、位相を調整する薄膜ヒータ4が装荷されている領域の下部に位置するシリコン基板1が部分的に石英基板5に置換されたものである。

【0019】その他の構成は、図6に示す光導波路と同じ構成である。即ち、前述したように、シリコン基板1上に石英系ガラスよりなるクラッド層2が形成されると共にこのクラッド層2には石英系ガラスよりなるコア部

## 6

3が埋め込まれ、更に、このコア部3の上部のクラッド層2の表面に位相調整器として薄膜ヒータ4が形成されている。

【0020】ここで、シリコン基板1の厚さは $700 \mu\text{m}$ 、クラッド層2の厚さは $50 \mu\text{m}$ 、コア部3の断面寸法は $8 \mu\text{m}$ 角であり、コア部3とクラッド層2との比屈折率差は0.2%である。薄膜ヒータ4のサイズは、厚さ $0.3 \mu\text{m}$ 、幅 $50 \text{ mm}$ 、長さ $4 \text{ mm}$ である。このような構成の光導波路において、約 $100 \text{ mW}$ の電力を薄膜ヒータ4に供給すると、光導波路の光路長が $0.4 \mu\text{m}$ 増加することが観測された。この光路長増加は薄膜ヒータ4の下に位置するコア部近傍の温度が約 $10$ 度上昇することに相当する。

【0021】比較例として、図6に示す従来の基本的な構成の光導波路において、薄膜ヒータ4による光路長変化を調べたところ、 $0.4 \mu\text{m}$ の光路長変化を得るのに必要な薄膜ヒータ4への供給電力は約 $300 \text{ mW}$ であった。この例から明らかなように、本実施例では、図6に示す従来構成に比べて3分の1以下の電力供給で位相調整を実現することができた。

【0022】また、本実施例の光導波路は、図5に示すブリッジ構造部による断熱構造を有する光導波路に比較し、遙に強い機械的強度を持ち、実際に作製後のウェハーを図6の構造の場合と同じように取り扱っても全く問題なかった。しかも、図5に示す光導波路は、断熱構造であるブリッジ構造部の導波路を作製するのに、パターンニングやエッチング等の煩雑な作製工程を用いていたのに比較し、本実施例で用いる複合基板は断熱構造として、主に機械加工により、簡便且つ安価に作製できると言う利点がある。

【0023】このような構成の石英系光導波路は、図2に示す手順を経て作製される。まず、図2(a)に示すように、シリコン基板1の薄膜ヒータ4の装荷されるべき領域の下部に位置する部分を、例えば、ドリル加工のような機械加工若しくはレーザ加工で研削し、図2

(b)に示すように穴を開けて、シリコン基板研削領域21を形成し、加熱処理により表面に熱酸化膜を形成した。

【0024】次に、図2(c)に示すように、シリコン基板研削領域21にその径に合わせた石英基板5を嵌め込み、 $1400$ 度程度加熱処理を施すことにより、シリコン基板1と石英基板5とを接続し一体化した。接続部分に段差が生じた場合など、必要に応じて表面を研磨した。引き続き、図2(d)に示すように、従来より用いている火炎堆積技術と反応性エッチングによる微細加工技術の組み合わせにより、石英系ガラス導波路を複合基板上に作製した。

【0025】その後、図2(e)に示すように、真空蒸着法でクロム金属膜を蒸着し、化学エッチングでパターン化することにより、ヒータ4を形成した。また、今回

の複合基板の作製において、機械加工は任意の位置に数 $\mu\text{m}$ の位置制度で形成でき、光導波路の配置を特に制限するものではなかった。

【0026】〔実施例2〕本発明の第2の実施例に係る位相調整機能付光導波路を図3に示す。本実施例は、光スイッチに応用したものである。特に、図3は、複数個の光スイッチを集積した例である。

【0027】即ち、シリコン基板1上には、石英系光導波路により構成される方向性結合器(3dB)31a, 31b, 31c, 31dと、これら方向性結合器31a ~ 31dを連結するように、位相調整に用いる薄膜ヒータ付き導波路32a, 32b, 32c, 32dとが配置され、全体としてマッハ・ツェンダー光干渉回路を構成している。

【0028】薄膜ヒータ付き導波路32a, 32b, 32c, 32dは、実施例1と同様に、シリコン基板1に複数の細溝を各々研削し、これらの細溝に石英基板5a, 5b, 5c, 5dを各々嵌め込んで一体化することにより複合基板とし、その石英基板5a ~ 5d上に各々石英系ガラス導波路を形成し、更に、その上に薄膜ヒータを形成したものである。

【0029】ここで、薄膜ヒータ付き導波路32a ~ 32dの間隔は200 $\mu\text{m}$ 、入力端33a, 33b, 33c, 33dの間隔、出力端34a, 34b, 34c, 34dの間隔についても同様である。薄膜ヒータ付き導波路32a ~ 32dの実効的加熱長は10mmである。これ以外の概略寸法は、実施例1と同様である。本実施例の光導波路において、シリコン基板1上の細溝の研削加工には、ダンシング・ソーを用いた。また、今回の複合基板の作製において、機械加工は任意の向きに数 $\mu\text{m}$ の位置制度で形成でき、光導波路の配置を特に制限するものではない。

【0030】このような構成の光導波路において、入力端33aから入力された信号光は、光干渉原理に基づいて、出力端34bから出力されるが、薄膜ヒータ付き光導波路32a又は32bに電力を供給して、光路長を信号光の1/2波長だけ変化させると、公知の干渉原理により、信号光は出力端34aから出力される。即ち、本回路は光スイッチとして機能する。

【0031】上述した薄膜ヒータ付き導波路32a ~ 32dにおいて、任意の薄膜ヒータに電力を供給して、スイッチの切替え動作を行わせると、薄膜ヒータより発生した熱は各細溝内で断熱されているため、シリコン基板1を通じて拡がらず、隣接する薄膜ヒータ付き導波路32a ~ 32dでの信号光の通過強度を測定したところ、強度変化は0.1%以下であった。

【0032】比較例として、図6に示すような従来構造の光導波路において、同一基板上に複数個のスイッチ列を集積した回路を作製し、特定の光スイッチの切替え動作のために薄膜ヒータに電力を供給して、同様な実験を

行った。その結果、発生した熱がシリコン基板を介して広がり、隣接したスイッチに影響を与えて相互干渉が生じたため、数%の強度変化が見られ実用上不都合であった。

【0033】尚、本実施例においても、従来構成のスイッチに比べて、3分の1以下に消費電力化が達成されており、消費電力の低減が相互干渉の低減に寄与していることも見逃せない。

【0034】〔実施例3〕本発明の第3の実施例に係る位相調整機能付光導波路を図4に示す。本実施例は、光合分波器に応用した例である。即ち、シリコン基板1上には、石英系光導波路により構成される方向性結合器(3dB)31a, 31bと、これら方向性結合器31a, 31bを結合するように、位相調整に用いる薄膜ヒータ付き導波路42a, 42bが配置されている。薄膜付き導波路42aは薄膜付き導波路42bに比べて、 $\Delta L$ だけ導波路長が長くなっており、全体として非対象マッハ・ツェンダー光干渉回路を構成している。

【0035】薄膜ヒータ付き導波路42a, 42bは、実施例1と同様に、シリコン基板1の一部を除去して除去領域を形成し、この除去領域に石英基板5を嵌め込んで一体化することにより複合基板とし、その上に石英系ガラス導波路を形成し、更に、その上に薄膜ヒータを形成したものである。本実施例の光導波路において、シリコン基板1上の除去領域の形成加工には、ドリル及びワイヤカッターを用いた。また、今回の複合基板の作製において、機械加工は任意の向きに数 $\mu\text{m}$ の位置制度で形成でき、光導波路の配置を特に制限するものではない。

【0036】このような構成の光導波路において、入力端33aから入力された波長 $\lambda$ の光は、光干渉原理に基づき、波長 $\lambda$ に応じて、出力端34a, 34bからそれぞれ $\sin^2(n_e \pi \Delta L / \lambda)$ ,  $\cos^2(n_e \pi \Delta L / \lambda)$ で表される対入力強度比で出力される。即ち、本回路は光合分波器として機能する。薄膜ヒータに通電することで、 $\Delta L$ を調整することにより、透過波長特性を微調することができる。尚、本回路においても、この微調に必要な電力を少なくすることができた。

【0037】更に、本実施例では、通常のシングルモードファイバを用いた光通信システムで回避しなければならない、分波特性の偏波依存性が以下に述べるように回避された。通常のシリコン基板を用いた基板の場合、ガラス導波路の面内方向にシリコン基板と石英系ガラスを用いた導波路の熱膨張係数の差に起因する圧縮応力が生じるので、導波する光の偏波によって光が感じる屈折率 $n_e$ が僅かに異なり、分波特性に偏波依存性が生じていた。

【0038】しかし、本実施例の回路では、遅延差を与え得る導波路42a, 42bの下部に位置する基板は石英基板5であり熱膨張係数はほぼ等しいことから偏波依存性は生じなかった。以上、三つの実施例では、シリコ

ン基板上の石英系ガラス導波路を例として本発明の構成、作用を説明したが、これは石英系光導波路が光ファイバとの整合性の点で実用上有利なためである。しかし、本発明は、石英系ガラス導波路にのみ限られるものではなく、他のガラス系材料に対して適用できることはもちろんである。

【0039】また、以上の実施例では、複合基板としてシリコンと石英ガラスから構成される場合について述べたが、本発明の特徴が熱伝導率の異なる材料を複合した基板を使うことにあるので、シリコンとサファイヤ、シリコンと多成分ガラス等の他の組み合わせの複合基板にも適用できることは自明である。

#### 【0040】

【発明の効果】以上、実施例に基づいて具体的に説明したように、本発明では、熱伝導率の異なる複数の材料を組み合わせた複合基板を用い、コア部を複合基板のうち熱伝導率が比較的低い材料の上に配置したので、従来のものに比較して機械的強度が向上し作製後の取り扱いが簡単で、且つ、簡便で安価に、低電力動作であり、且つ相互干渉の少ない光路長調整可能な単一モード光導波路を提供できる。また、付帯的な効果として偏波依存性を低減することができた。従って、本発明は、低電力動作の光路長調節可能な単一モード光導波路を実用する上で極めて効果的である。

#### 【図面の簡単な説明】

【図1】同図（a）は本発明の第1の実施例に係る位相調整機能付光導波路の概略構成を示す平面図、同図

（b）は同図（a）中のA-A'線断面図、同図（c）は同図（a）中のB-B'線断面図である。

【図2】本発明の位相調整機能付光導波路の作製方法の一実施例を示す工程図である。

【図3】本発明の第2の実施例に係る位相調整機能付光導波路の概略構成を示す平面図である。

【図4】本発明の第3の実施例に係る位相調整機能付光導波路の概略構成を示す平面図である。

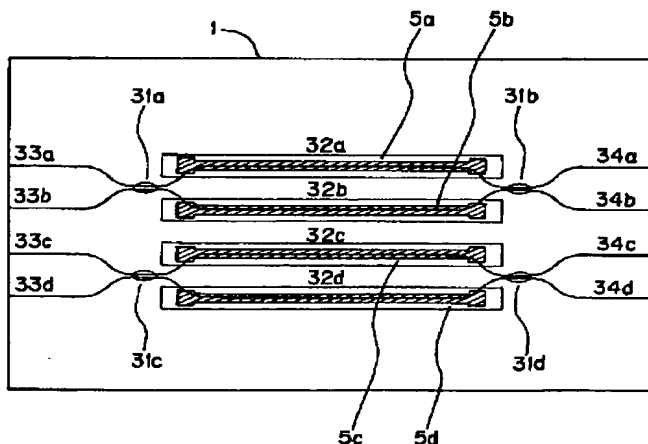
【図5】同図（a）は従来の光導波路の平面図、同図（b）は同図（a）中のC-C'線断面図、同図（c）は、同図（a）中のD-D'線断面図である。

【図6】同図（a）は従来の位相調整部を有する光導波路の概略構成例である石英系ガラス導波路の平面図、同図（b）は同図（a）中のE-E'線断面図である。

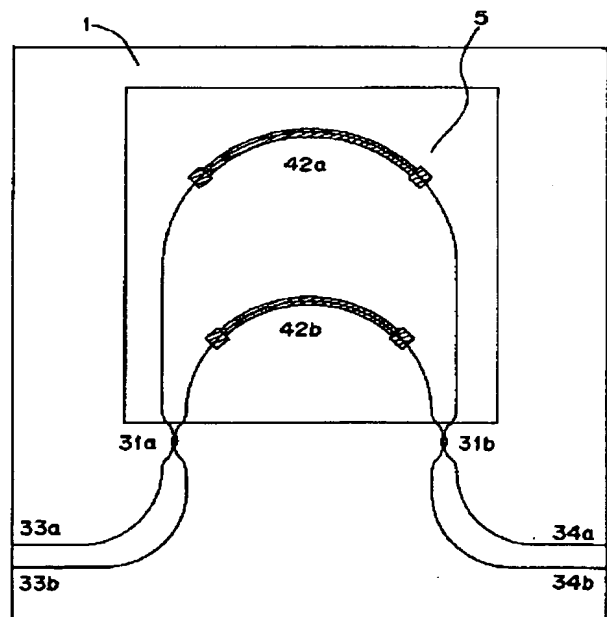
#### 【符号の説明】

- 1 シリコン基板
- 2 クラッド層
- 3 コア部
- 4 薄膜ヒータ
- 5, 5a, 5b, 5c, 5d 石英基板
- 21 シリコン基板研削領域
- 31a, 31b, 31c, 31d 方向性結合器
- 32a, 32b, 32c, 32d, 42a, 42b 薄膜ヒータ付き導波路
- 33a, 33b, 33c, 33d 入力端
- 34a, 34b, 34c, 34d 出力端

【図3】



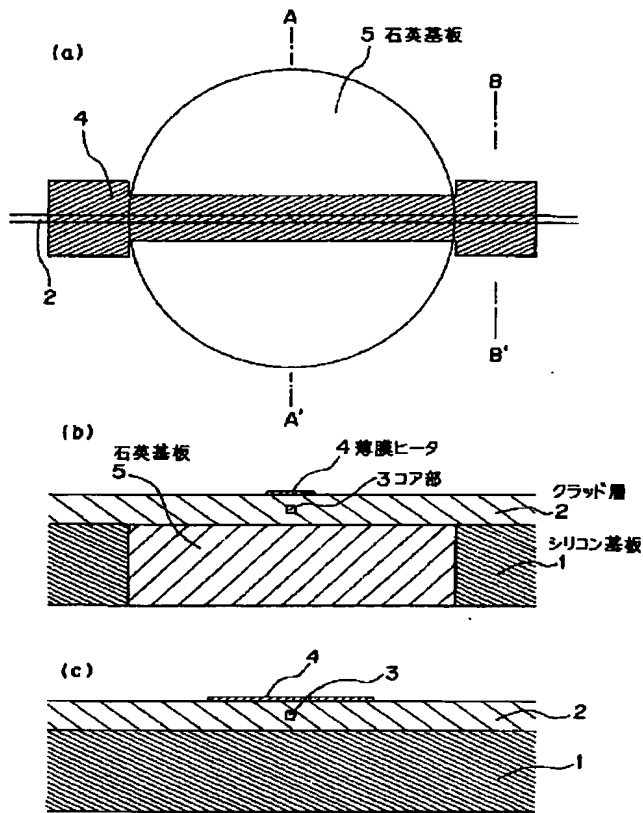
【図4】



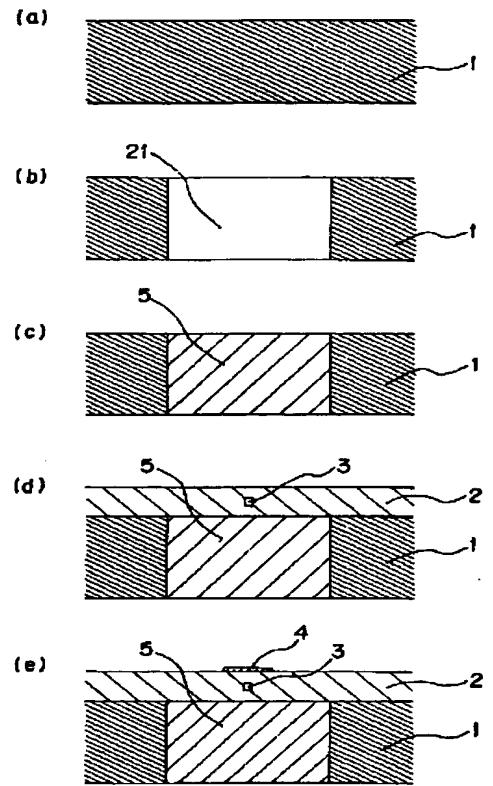
(6)

特許第3204493号

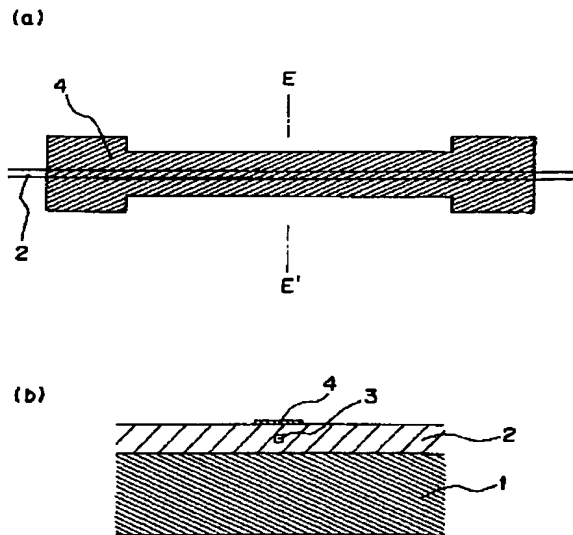
【図1】



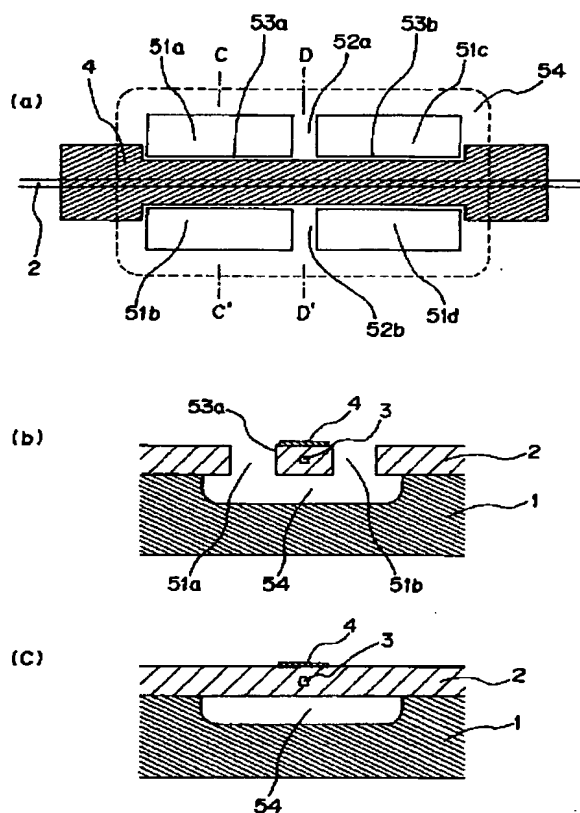
【図2】



【図6】



【図5】



フロントページの続き

(72)発明者 大森 保治

東京都新宿区西新宿三丁目19番2号 日  
本電信電話株式会社内

(58)調査した分野(Int.Cl.<sup>7</sup>, DB名)

G02B 6/12 - 6/14  
G02F 1/00 - 1/125  
G02F 1/29 - 7/00

(56)参考文献 特開 平5-34525 (JP, A)  
実開 昭59-126220 (JP, U)